

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-140983

(43)Date of publication of application : 02.06.1995

(51)Int.Cl.

G10H 7/08

(21)Application number : 05-185639

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 29.06.1993

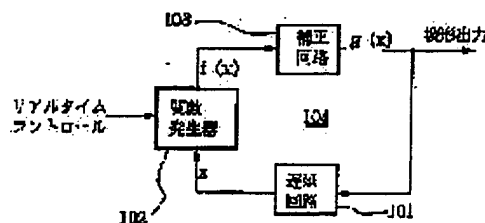
(72)Inventor : TAKEUCHI KAZUFUMI  
SAKAMA MASAO

## (54) MUSICAL SOUND GENERATOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To generate musical sound having rich expression and varieties by controlling the parameters of a kaos sound source in real time and generating waveform shapes which vary stepwise in accordance with the parameter values.

CONSTITUTION: Parameters of a function (f) of a kahos sound source, which generates waveform data columns, are controlled in real time by a dynamic system that is varied in accordance with  $X_n$  of a difference equation  $X_{n+1} = f(X_n)$  at time  $n$  ( $n=0,1,2,\dots$ ). Namely, a delay circuit 101 of a kahos oscillator delays input data for equivalent to one period of a sampling clock and outputs them. In a function generator 102, the function (f) is applied to input data  $X$  and output data  $f(X)$  are outputted. A compensation circuit 103 performs a nonlinear conversion to the input data and outputs them as musical sound data and the output of the circuit 103 is also inputted to the circuit 101.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.06.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2803703

特開平7-140983

(43)公開日 平成7年(1995)6月2日

(51)Int. Cl. <sup>6</sup>

G10H 7/08

識別記号

F I

8938-5H

G10H 7/00

531

審査請求 未請求 請求項の数3 F D (全13頁)

(21)出願番号 特願平5-185639

(22)出願日 平成5年(1993)6月29日

(71)出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72)発明者 竹内 千史

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(72)発明者 坂間 真雄

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(74)代理人 弁理士 矢島 保夫

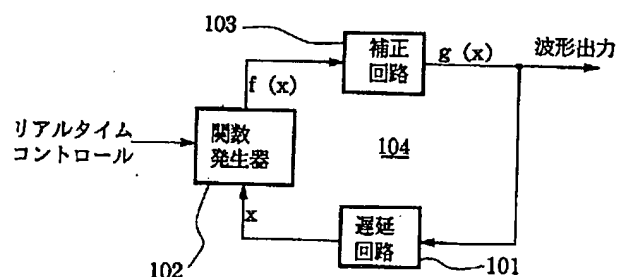
(54)【発明の名称】 楽音発生装置

(57)【要約】

【目的】PCM音源やFM音源では発生することができない、よりバラエティに富んだ表現力の高い楽音を発生することができる楽音発生装置を提供することを目的とする。また、カオス音源において、循環路のデータ長を長くすることなく、また関数演算を複雑にすることなく、種々の波形を発生することができる楽音発生装置を提供することを目的とする。

【構成】時間 $n$  (ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ) におけるデータ値 $x_n$  が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$  にしたがって変化するダイナミカルシステムによって波形データ列を発生するカオス音源において、その関数 $f$ のパラメータをリアルタイム制御するようにする。また、カオス音源の循環路内を循環するデータの数值制限を行なうようにする。

カオス発振器のブロック構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】時間 $n$ （ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）におけるデータ値 $x_n$ が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$ にしたがって変化するダイナミカルシステムによって波形データ列を発生する波形発生手段と、  
該波形発生手段の関数 $f$ のパラメータをリアルタイムで制御する制御手段とを備えたことを特徴とする楽音発生装置。

【請求項2】時間 $n$ （ただし、 $n$ はサンプリングクロックに基づく $0, 1, 2, 3, \dots$ の整数）におけるデータ値 $x_n$ が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$ にしたがって変化するダイナミカルシステムとして機能する循環路であって、入力データをサンプリングクロックの一周期だけ遅延させて出力する遅延手段と入力データに関数 $f$ を適用して出力する関数演算手段とを含む循環路を備えた楽音発生装置において、  
上記循環路内を循環するデータの数値制限を行なう非線形変換手段を、上記循環路内に、備えたことを特徴とする楽音発生装置。

【請求項3】少なくとも一周期分の波形データを記憶した波形メモリを備えた楽音発生装置であって、  
時間 $n$ （ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）におけるデータ値 $x_n$ が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$ にしたがって変化するダイナミカルシステムによって位相データ列を発生する位相発生手段と、  
該位相発生手段の関数 $f$ のパラメータをリアルタイムで制御する制御手段とを備え、上記位相発生手段から出力される位相データに基づいて上記波形メモリから波形データを読出し出力することを特徴とする楽音発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、電子楽器の音源などに用いられる楽音発生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、電子楽器の音源として、現実の楽音をPCM（パルス符号変調）方式で録音してメモリに格納しておき、演奏時にはこれを読出すとともに、読出した波形データにエンベロープを付与して出力する方式が知られている。また、FM（周波数変調）演算によって波形データを生成し、これにエンベロープを付与して出力する方式が知られている。これらの方式による楽音波形は、基本的には、その形状が連続的に変化するものとなる。

【0003】一方、ダイナミカルシステム $x_{n+1} = f(x_n)$ （ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）で発生する数列を波形データ列として出力する波形発生器を具備する楽音発生装置（いわゆる、カオス音源）が、特開平4-97197号に開示されている。

【0004】これは、入力データをサンプリングクロックの一周期だけ遅延させて出力する遅延回路と、入力デ

ータに関数 $f$ を適用して出力する関数演算回路とを含む循環路を備えたものである。この循環路に数値データを循環させて、ダイナミカルシステム $x_{n+1} = f(x_n)$ （ $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）にしたがって変化する数列 $x_n$ を生成し、波形データとして出力する。

【0005】このようなカオス音源によれば、不安定な振幅の挙動を示す楽音や振幅が不規則に揺らぐ楽音などを合成できる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述のPCM音源やFM音源を用いた楽音発生装置でも多種の音色の楽音を発生することはできるが、ユーザの要求はさらに多様化かつ高度化しており、よりバラエティに富んだ表現力の高い楽音を発生できる装置が求められている。

【0007】上述の特開平4-97197号に開示されているカオス音源によれば、PCM音源やFM音源とは異なるカオス的な振舞いを示す楽音を発生できる。しかしながら、カオス音源の循環路は、その循環路を循環するデータがオーバーフローしないようにするために、十分なデータ長のデータを処理できるように構成しなければならない。また、種々の波形を発生するためには、使用する関数 $f$ を複雑化しなければならず、そのため回路が複雑化するという問題があった。

【0008】この発明の目的は、PCM音源やFM音源では発生することができない、よりバラエティに富んだ表現力の高い楽音を発生することができる楽音発生装置を提供することにある。

【0009】また、この発明の目的は、カオス音源において、循環路のデータ長を長くすることなく、また関数演算を複雑にすることなく、種々の波形を発生することができる楽音発生装置を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため、この発明は、時間 $n$ （ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ）におけるデータ値 $x_n$ が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$ にしたがって変化するダイナミカルシステムによって波形データ列を発生する波形発生手段と、該波形発生手段の関数 $f$ のパラメータをリアルタイムで制御する制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0011】また、時間 $n$ （ただし、 $n$ はサンプリングクロックに基づく $0, 1, 2, 3, \dots$ の整数）におけるデータ値 $x_n$ が差分方程式 $x_{n+1} = f(x_n)$ にしたがって変化するダイナミカルシステムとして機能する循環路であって、入力データをサンプリングクロックの一周期だけ遅延させて出力する遅延手段と入力データに関数 $f$ を適用して出力する関数演算手段とを含む循環路を備えた楽音発生装置において、上記循環路内を循環するデータの数値制限を行なう非線形変換手段を、上記循環路内に備えたことを特徴とする。

【0012】さらに、少なくとも一周期分の波形データ

を記憶した波形メモリを備えた楽音発生装置であって、時間  $n$  (ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ) におけるデータ値  $x_n$  が差分方程式  $x_{n+1} = f(x_n)$  にしたがって変化するダイナミカルシステムによって位相データ列を発生する位相発生手段と、該位相発生手段の関数  $f$  のパラメータをリアルタイムで制御する制御手段とを備え、上記位相発生手段から出力される位相データに基づいて上記波形メモリから波形データを読み出し出力することを特徴とする。

#### 【0013】

【作用】時間  $n$  (ただし、 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ) におけるデータ値  $x_n$  が差分方程式  $x_{n+1} = f(x_n)$  にしたがって変化するダイナミカルシステムによって波形データ列を発生する波形発生手段 (いわゆる、カオス音源) の関数  $f$  のパラメータをリアルタイムで制御することにより、波形形状がステップ的に複数段階に渡って変化するような波形を発生することができる。例えば、所定のエンベロープに応じて上記関数  $f$  のパラメータを時間変化させたり、演奏操作子からの演奏操作情報に応じて上記関数  $f$  のパラメータを変化させたりするとよい。

【0014】カオス音源は、通常、入力データをサンプリングクロックの一周期だけ遅延させて出力する遅延手段と入力データに関数  $f$  を適用して出力する関数演算手段とを含む循環路を備えており、この循環路にデータを循環させて波形データを生成する。このとき、循環路内に非線形変換手段を設けて、循環路を循環するデータの数値制限を行なうようにすれば、循環路のデータ長を長くすることなく、またその中の演算も単純なままで種々の波形を出すことができる。

【0015】この場合、特に関数  $f$  は簡単で済み係数の数も少なくてもよい。したがって、上述した関数  $f$  のパラメータのリアルタイム制御に適した音源となる。

【0016】カオス音源から発生するデータ列を位相データとして波形メモリを読み出すようにすれば、従来がない新規な音源が得られる。

#### 【0017】

【実施例】以下、図面を用いて、この発明の実施例を説明する。

【0018】図 1 は、この発明の第 1 の実施例に係るカオス発振器のブロック構成を示す。このカオス発振器は、遅延回路 101、関数発生器 102、および補正回路 103 を備えている。これらは循環路 104 を構成する。

【0019】遅延回路 101 は、入力データをサンプリングクロックの一周期だけ遅延させて出力する遅延回路である。遅延回路 101 の出力は、関数発生器 102 に入力する。関数発生器 102 は、入力データ  $x$  に関数  $f$  を適用して、出力データ  $f(x)$  を出力する。関数発生器 102 の出力は、補正回路 103 に入力する。補正回路 103 は、入力データに非線形変換 (後述する) を施

して出力する。補正回路 103 の出力は、遅延回路 101 に入力する。また、補正回路 103 の出力が、楽音波形データとして出力される。

【0020】いま補正回路 103 が無いものとして考えると、この循環路 104 は、データ値  $x_n$  が差分方程式  $x_{n+1} = f(x_n)$  にしたがって変化するダイナミカルシステムを実現している。 $n$  はサンプリングクロックに基づく  $0, 1, 2, 3, \dots$  の整数であり、時間を示している。このようなダイナミカルシステムによって発生された波形データ列は、周期信号のように見えてランダムであり、かといって完全にノイズかという周期性のようなものがある。このようなカオス的な振舞いをする楽音波形信号を発生することができる。

【0021】図 2 は、カオス発振器の関数発生器 102 の構成例を示す。関数発生器 102 としては、ここに示す例のほか、何次式でもよいし、三角関数や指数関数などを用いてもよい。

【0022】図 2 (a) は、入力  $x$  に対し関数  $f(x) = ax + b$  を出力する関数発生器 102 の例である。入力  $x$  に対し係数  $a$  を乗算する乗算器 201、および乗算器 201 の出力  $ax$  に定数  $b$  (なお、説明の便宜のため定数項を示す  $b$  も係数  $b$  と呼ぶものとする) を加算する加算器 202 が備えられている。加算器 202 の出力  $ax + b$  が、最終的な関数出力  $f(x)$  となる。

【0023】図 2 (b) は、入力  $x$  に対し関数  $f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + b$  を出力する関数発生器 102 の例である。入力  $x$  に対し、乗算器 211 で係数  $a_1 / a_2$  を乗算し、乗算器 212 で  $x^2$  を計算する。乗算器 211 の出力  $(a_1 / a_2) x$ 、および乗算器 212 の出力  $x^2$  は、加算器 213 で加算される。加算器 213 の出力  $x^2 + (a_1 / a_2) x$  に対し、乗算器 214 で係数  $a_2$  を乗算する。乗算結果は、 $a_2 \{x^2 + (a_1 / a_2) x\} = a_2 x^2 + a_1 x$  となる。この乗算結果に対し、加算器 215 で係数  $b$  を加算し、最終的な関数出力  $f(x) = a_2 x^2 + a_1 x + b$  を得る。

【0024】図 1 の補正回路 103 は、循環路 104 を循環するデータの数値制限 (言い替えると、振幅制限) を行なうための非線形変換を行なう回路である。循環路 104 を循環するデータ (波形データ) は、ある範囲内 (ここでは、 $-1$  から  $1$ ) に収まる必要がある。しかし、補正回路 103 が無い従来の循環路では、カオス・アルゴリズムの計算上、オーバフローが生じることが多かった。そこで、この実施例では、補正回路 103 で非線形変換を施し、数値制限 (振幅制限) を行なうようにしている。

【0025】図 3 (a) ~ 図 3 (d) は、補正回路 103 による振幅制限の例を示す。いずれの例も、入力データを  $-1$  から  $1$  の範囲に数値制限するものである。

【0026】図 3 (a) は、入力データに対しモジュロ演算を施す補正回路 103 の入出力を示す。入力を  $x$ 、

10

20

30

40

50

出力を  $[x] \bmod$  と表記すると、このモジュロ演算は、

$$[x] \bmod = (x + 1) \% 2 - 1$$

と表される。ただし、演算子%の意味は、「 $p \% q$ と表記したとき ( $p$ は実数、 $q$ は自然数)、 $p \% q$ は $p$ を $q$ で除した余り (0以上 $q$ 未満) を示す」である。

$$[x] S = 1 - (2x) \% 2 \\ (2x) \% 2 - 1$$

と表される。ただし、 $r$ は整数とする。

【0028】図3(c)は、入力データの値を制限するリミッタによる補正回路103の入出力を示す。入力を  $x$ 、出力を  $[x] L$  と表記すると、この演算は、

$$[x] L = \begin{cases} 1 & (1 \leq x \text{ のとき}) \\ x & (-1 < x < 1 \text{ のとき}) \\ -1 & (x \leq -1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

と表される。

【0029】図3(d)は、入力データに対し $\cos$ 関数演算を施す補正回路103の入出力を示す。入力を $x$ 、出力を  $[x] \cos$  と表記すると、この $\cos$ 関数演算は、

$$[x] \cos = \cos \pi x$$

と表される。

【0030】なお、その他の多項式、三角関数 ( $\tan^{-1} x$  など)、対数関数など、任意の関数を用いて数値制限を行なうとよい。このような数値制限を行なう補正回路103の構成は、従来より知られているものを用いればよい。

【0031】補正回路103により循環路104を循環するデータの数値制限を行なうと、循環路104における処理データ長を長くする必要がない。すなわち、遅延回路101、関数発生器102、および補正回路103の処理データ長を長くする必要がない。また、関数発生器102の関数演算は単純なままでいろいろな波形を発生できる。

【0032】次に、図4～図8を参照して、図1のカオス発振器の具体的な発振動作の例について説明する。以下では、関数発生器102として関数  $f(x) = ax + b$  を出力する図2(a)のものを用い、補正回路103として図3(a)のモジュロ演算を行なうものを用いた例を説明する。

【0033】図4(a)は、 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡を示すグラフである。横軸は $x_n$ 、縦軸は $x_{n+1}$ を表す。グラフ401は、関数発生器102の関数  $x_{n+1} = f(x_n) = ax_n + b$  のグラフである。グラフ402は補助線 ( $x_{n+1} = x_n$  のグラフ) である。ただし、係数 $a$ 、 $b$ は  $0 < a < 1.0$ 、 $b > 0$  とし、グラフ401と補助線402とは必ず交わるものとする。430は、その交点を示す。なお、補正回路103により、循環路104を循環するデータ $x_n$ は常に  $-1 \leq x_n \leq 1$  であるから、図4(a)～図8(a)のグラフはその範囲で示してある。

【0034】図4(a)で波形データ $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$

【0027】図3(b)は、入力データに対し三角波関数演算を施す補正回路103の入出力を示す。入力を $x$ 、出力を  $[x] S$  と表記すると、この三角波関数演算は、

$$(2r < x \leq 2r + 1 \text{ のとき}) \\ (2r + 1 < x \leq 2r + 2 \text{ のとき})$$

$x_3$ 、 $\dots$ を順次求めるのは、以下のようにする。まず、 $x_0$  (ここでは、 $x_0 = 0$  とする) を通って縦軸に平行な直線とグラフ401との交点411から $x_1$ が求められる。次に、 $x_1$ が入力となって $x_2 = f(x_1)$ が計算されるから、交点411を通して横軸に平行な直線と補助線402との交点412を求め、さらにこの交点412を通して縦軸に平行な直線とグラフ401との交点413から $x_2$ が求められる。階段状の矢印420は、このようにして順次 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\dots$ を求める様子を示している。

【0035】図4(a)から分かるように、 $a < 1.0$ 、 $b > 0$  であってグラフ401と補助線402とが交点430で交わるときには、出力される波形データ列 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\dots$ が、交点430に漸近する列となる。図4(b)は、この波形データ列 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\dots$ の時間的変化を示すグラフである。時間の経過とともに、振幅値が、 $b / (1 - a)$  に収束している。 $b / (1 - a)$  は交点430の位置座標 ( $x$ 座標 =  $y$ 座標) である。

【0036】図5(a)は、図4(a)と同様の $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡を示すグラフである。ただし、図5(a)では、関数発生器102の関数 $f$ の係数 $a$ を $a = 1.0$ とし、 $b > 0$ としている。501Aが、関数 $f$ のグラフである。 $a = 1.0$ であるので、関数 $f$ のグラフ501Aは補助線402と平行になっている。

【0037】関数 $f$ のグラフ501Aの $x_{n+1} = f(x_n) > 1$ の範囲 (一点鎖線の部分501C) は、図1の補正回路103 (図3(a)の演算を行なう) によって、数値限定のためのモジュロ演算が施される。したがって、この範囲のグラフ501Cは (全体が $-1$  され) 501Bのようになる。言い替えると、関数発生器102と補正回路103とを合わせた関数を $g$ とすると、グラフ501Aの $-1 \leq x_{n+1} \leq 1$ の範囲とグラフ501Bとを合わせたグラフが関数 $g$ のグラフとなる。

【0038】図5(a)においても図4(a)と同様に、階段状の矢印511のようにして、波形データ列 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\dots$ を求めることができる。図の矢印511の軌跡から分かるように、波形データ列 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\dots$ は始めに単調増加していき、所定値以上になると矢印511がグラフ501Bに移り、さらに矢印511がグラフ501Aに移って再び単調増加していく。

【0039】図5(b)は、この波形データ列 $x_0$ 、 $x$

1,  $x_2$ , ...の時間的変化を示すグラフである。振幅値は、時間の経過とともに単調増加していき、所定値以上になると急激に負数となり、再び単調増加していく。これを繰り返すから、出力波形は、ほぼ一定の周波数（ほぼbの値で定まる）を有することとなる。

【0040】図6(a)は、図4(a)と同様の $x_{n+1} = f(x_n)$ の軌跡を示すグラフである。ただし、図6(a)では、関数発生器102の関数fの係数aを $a > 1.0$ とし、 $b > 0$ としている。601Aが、関数fのグラフである。関数fのグラフ601Aの $x_{n+1} = f(x_n) > 1$ の範囲（一点鎖線の部分601C）も、図5(a)のグラフ501Bと同様に、補正回路103のモジュロ演算によって、601Bのようになる。

【0041】図6(a)においても図4(a)と同様に、階段状の矢印611のようにして、波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ を求めることができる。図の矢印611の軌跡から分かるように、波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ は加速度的に増加していき、所定値以上になると矢印611がグラフ601Bに移り、さらに矢印611がグラフ601Aに移って再び加速度的に増加していく。

【0042】図6(b)は、この波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ の時間的変化を示すグラフである。振幅値は、時間の経過とともに加速度的に増加していき、所定値以上になると急激に負数となり、再び加速度的に増加していく。これを繰り返すから、出力波形はある周波数付近で若干揺れ動く周波数を有することとなる。

【0043】図7(a)は、図4(a)と同様の $x_{n+1} = f(x_n)$ の軌跡を示すグラフである。ただし、図7(a)では、 $a > 1.0$ ,  $b > 0$ とし、関数fのグラフ701Aと補助線402とが交点730で交わるものとする。

【0044】関数fのグラフ701Aの $x_{n+1} = f(x_n) > 1$ の範囲（一点鎖線の部分701D）は、図5(a)のグラフ501Bと同様に、補正回路103のモジュロ演算によって、グラフ701Bのようになる。さらに、このグラフ701Aの $x_{n+1} = f(x_n) < -1$ の範囲（一点鎖線の部分701E）は、補正回路103のモジュロ演算によって、グラフ701Cのようになる。

【0045】図7(a)においても図4(a)と同様に、階段状の矢印711のようにして、波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ を求めることができる。図の矢印711の軌跡から分かるように、波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ は始めに加速度的に増加していき、所定値以上になると矢印711がグラフ701Bに移り、さらに矢印711がグラフ701Aに移り、さらに矢印711がグラフ701Cに移り、...というように変化していく。

【0046】図7(b)は、この波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ の時間的変化を示すグラフである。振幅値は、時間の経過とともに始めは加速度的に増加していき、所定値以上になると正数と負数とが入り乱れたノイズのようになる。

【0047】図8(a)は、図7(a)の状態からさらに傾きaを増加させたグラフである。関数fのグラフ801Aと補助線402とが交点830で交わっている。関数fのグラフ801Aの $x_{n+1} = f(x_n) > 1$ の範囲（一点鎖線の部分801D）は、補正回路103のモジュロ演算によって、グラフ801Bのようになる。さらに、このグラフ801Aの $x_{n+1} = f(x_n) < -1$ の範囲（一点鎖線の部分801E）は、補正回路103のモジュロ演算によって、グラフ801Cのようになる。

【0048】図7(a)と同様にして、階段状の矢印811のように波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ を求めることができる。波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ は始めに加速度的に増加していき、所定値以上になると矢印811がグラフ801Bに移り、さらに矢印811がグラフ801Aに移り、さらに矢印811がグラフ801Cに移り、...というように変化していく。

【0049】図8(b)は、この波形データ列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ の時間的変化を示すグラフである。図8(a)のグラフ801Aは図7(a)のグラフ701Aより傾きaが大きいので、グラフ801B, 801Cの定義域はグラフ701B, 701Cの定義域より広い。したがって、図8(b)では、振幅値は時間の経過とともに図7(b)の場合よりさらに加速度的に増加していき、所定値以上になると正数と負数とが入り乱れたノイズのようになる。ノイズのような状態のとき、その振幅値の揺れ幅840は、図7(b)における揺れ幅740より大きくなる。

【0050】なお、上記の例では $x_0 = 0$ から波形データの出力の生成を開始しているが、これに限らず、任意の値から開始してよい。初期値は、循環路104の適当な位置（例えば、遅延回路101）に与えるようにすればよい。

【0051】また、図4～図8の例は、図1の関数発生器102として関数 $f(x) = ax + b$ を出力する図2(a)のものを用い、補正回路103として図3(a)のモジュロ演算を行なうものを用いた場合の例であるが、これに限らず他の関数演算や補正演算を用いてよい。複雑な関数や補正回路を用いることにより、さらに多様な波形を出力することができる。

【0052】また、上記の図4～図8で説明した係数a, bの範囲に限ることなく、係数a, bは別の範囲の値（例えば、aやbが負数の場合など）であってもよい。その場合、図1のカオス発振器の発振動作は、図4～図8で説明したのと同様にして知ることができる。

【0053】図9は、振幅値の時間的変化の別の例であ

る。図9(a)は、図4(a)と同様のグラフである。 $g(x) = ax + b$ は、関数発生器102の関数 $f$ と補正回路103のモジュロ演算とを合わせた関数を表す。 $g(x)$ と補助線402とが $c$ 点で交わっているものとする。

【0054】図9の(i)は、係数 $a$ が $0 < a < 1.0$ の場合の振幅値の時間的変化を示す。これは、図4(b)と同じであり、振幅値は徐々に $C$ 点に収束する。図9の(ii)は、係数 $a = 0$ の場合を示す。このときは、任意の入力に対して振幅値はいきなり $c$ 点に至る。図9の(iii)は、係数 $a$ が $-1 < a < 0$ の場合を示す。このとき、振幅値は徐々に $C$ 点へと減衰振動して収束する。図9の(iv)は、係数 $a = -1$ の場合を示す。このとき、振幅値は $C$ 点を中心に振動する。図9の(iiv)は、係数 $a < -1$ の場合を示す。このとき、振幅値はその絶対値を増大させながら振動する。

【0055】この第1の実施例では、図1の関数発生器102のパラメータをリアルタイムコントロールしている。関数発生器102のパラメータとは、例えば図2

(a)の構成なら係数 $a$ や係数 $b$ 、図2(b)の構成なら係数 $a_1$ 、係数 $a_2$ 、係数 $b$ などである。これらをリアルタイムコントロールすることにより、波形形状がステップ的に複数段階にわたって変化するような独特の音色変化を実現することができる。

【0056】例えば、上記の図4～図8の例で、係数 $b$ を固定値とし、係数 $a$ を1より大きい値から1まで徐々に減少させるように制御したとする。このとき、出力波形データの振幅値は、図8(b)→図7(b)→図6(b)→図5(b)のように変化する。

【0057】すなわち、始めは振幅値の揺れ幅の大きいノイズ成分が多く(図8(b))、徐々に振幅値の揺れ幅の小さいノイズとなっていく(図7(b))、次に適当な周波数付近で揺れ動く周波数を有するような波形データが出力され(図6(b))、最後にはほぼ一定の周波数を有する波形データとなる(図5(b))。このように、波形の形状がステップ的に複数段階にわたって変化する波形データを出力することができる。

【0058】図10は、この発明の第2の実施例に係る楽音発生装置を適用した電子楽器のブロック構成を示す。

【0059】この電子楽器は、演奏操作子1001、音色スイッチ(SW)1002、検出器1003、検出器1004、カオス発振器1005、ホールド回路1006、乗算器1007、デジタルフィルタ1008、効果回路1009、デジタルアナログ(D/A)変換器1010、サウンドシステム1011、音量エンベロープジェネレータ(EG)1012、およびカオスEG1013を備えている。

【0060】演奏操作子1001は、ユーザが演奏操作するための操作子である。ここでは鍵盤とする。ユーザ

が鍵盤1001を演奏すると、検出器1003はその演奏操作を検出し、演奏情報(例えば、キーオン信号やタッチ情報)を出力する。この演奏情報は、音量EG1012、カオス発振器1005、およびカオスEG1013に入力する。

【0061】音色SW1002は、発生する楽音の音色を指定するためのスイッチである。ユーザが音色SW1002により音色を指定する操作を行なうと、検出器1004はその指定操作を検出し音色情報を出力する。この音色情報は、音量EG1012、カオス発振器1005、およびカオスEG1013に入力する。

【0062】図11は、カオス発振器1005のブロック構成を示す。カオス発振器1005は、係数発生器1101、加算器1102、乗算器1103、加算器1104、遅延回路1105、およびモジュロ回路1106を備えている。

【0063】加算器1102、乗算器1103、および加算器1104は、図1の関数発生器102に対応し、図2(a)と同様の一次関数演算を行なう。その関数は $f(x) = ax + b = (aEG(t) + aofs)x + b$ となる。 $aEG(t)$ はカオスEG1013から与えられるパラメータで、時間 $t$ に応じて変化するエンベロープ値である。 $aofs$ は係数発生器1101から与えられるオフセット値である。

【0064】オフセット値 $aofs$ をエンベロープ値 $aEG(t)$ に加算して係数 $a$ を構成することによって、係数 $a$ が常に所定値より大きくなるようにしている。これにより、出力される振幅値が上述の図4(b)のように一定値になることがないようにしている。

【0065】モジュロ回路1106は、図1の補正回路103に対応する。モジュロ回路1106は、図3(a)のモジュロ演算を行なう。遅延回路1105は、図1の遅延回路101に対応する。遅延回路1105は、動作クロック(サンプリングクロック) $\phi_s$ の一周分だけ入力データを遅延させる。

【0066】係数発生器1101は、検出器1003、1004から出力された演奏情報および音色情報を入力し、それらに応じて係数 $aofs$ 、 $b$ を出力する。これにより、指定された音色およびタッチなどに応じた音色(音色変化)の波形データが生成される。

【0067】演奏情報でピッチが指定された場合は、指定されたピッチに応じて係数 $b$ の値を設定すればよい。

【0068】この図11のカオス発振器1005の発振動作は、基本的に、上述の第1の実施例で説明したのと同様である。図4～図9で説明した発振動作の例もそのままあてはめることができる。

【0069】図10のカオスEG1013から出力され図11の加算器1102に入力するエンベロープ値 $aEG(t)$ は、例えば、図13に示すように時間的変化するパラメータである。図13(a)～(c)において、横軸

は時間  $t$ 、縦軸はエンベロープ値  $aEG(t)$  を示す。

【0070】図13(a)のグラフ1301は、急激に立上りがピークに至りその後徐々に減少していくようなエンベロープである。エンベロープの立上がりは、鍵盤1001の鍵を押下した時点から開始される。このグラフ1301のように変化するエンベロープ値  $aEG(t)$  を図11のカオス発振器に入力すると、出力される波形データは、係数  $a$  の変化に応じて、上述した図8(b)→図7(b)→図6(b)→図5(b)のように変化する事となる。図13(a)の点線のグラフ1302の10のように、ピークに至ってから所定時間だけピークホールドしたエンベロープを用いることもできる。

【0071】図13(b)のグラフ1303は、徐々に立ち上がっていくエンベロープである。このグラフ1303のように変化するエンベロープ値  $aEG(t)$  を図11のカオス発振器に入力すると、出力される波形データは、係数  $a$  の変化に応じて、上述した図5(b)→図6(b)→図7(b)→図8(b)のように変化する事となる。

【0072】図13(c)のグラフ1304は、出力波形データが図5(b)→図6(b)→図7(b)のように変化するように、増加率の異なる多セグメントの関数で構成したエンベロープである。始めの区間1311では、増加率が比較的小さいので図5(b)のような出力が比較的長く続く。次の区間1312では図6(b)のような出力、次の区間1313では図7(b)のような出力というように変化する。20

【0073】このようにすると、意図的に図5(b)の状態を長く保つことができ、結果的に、出力波形全体の中の直流成分時間比が多くなる。聴感上は、音声の破裂30音に似た感じの音が生じやすくなる。

【0074】再び図10を参照して、カオスEG1013は、キーオン信号、タッチ情報、および音色情報などに応じて、上述の図13で説明したような時間変化するエンベロープ値  $aEG(t)$  を出力する。カオス発振器1005は、タッチ情報、音色情報、およびエンベロープ値  $aEG(t)$  に応じて、波形データを出力する。

【0075】カオス発振器1005から出力された波形データは、ホールド回路1006に入力する。ホールド回路1006は、サンプリング周波数  $\phi_s$  より低い周波数  $\phi_{RS}$  のリサンプリングクロックに基づいて、入力データをホールド(リサンプリング)する。結果的に、入力データの間引き処理を行なう事となる。40

【0076】ホールド回路1006の入力の前処理でLPF(ローパスフィルタ)に通すようなことは行なっていないから、このような間引き処理を行なうことにより、いわゆる折り返しノイズが発生し、スペクトル成分に変化が生じる。これにより、新たな音色の波形データを生成することができる。特に、後段のデジタルフィルタ1008内のBPF(バンドパスフィルタのQを高50

くすることで、いわゆるTOMっぽい音色の一種を容易に作ることができる。なお、FIRフィルタを用いて同様のスペクトル特性を実現できる。ただし、時間次元での波形変化は異なるため、音色感(特に、アタック部)は異なる。

【0077】ホールド回路1006の出力は、乗算器1007に入力する。また、音量EG1012は、検出器1003、1004からのキーオン信号、タッチ情報、および音色情報を入力し、これらに応じた音量エンベロープ  $VEG(t)$  を出力する。

【0078】乗算器1007は、ホールド回路1006からの波形データと音量エンベロープ  $VEG(t)$  とを乗算することにより、波形データにエンベロープを付与する。乗算器1007の出力(エンベロープを付与した波形データ)は、デジタルフィルタ1008に入力する。

【0079】図12は、デジタルフィルタ1008のブロック構成を示す。デジタルフィルタ1008は、係数発生部1201、フィルタ回路1202、およびミキサ部1203を備えている。

【0080】フィルタ回路1202は、内部にHPF(ハイパスフィルタ)、BPF(バンドパスフィルタ)、およびLPF(ローパスフィルタ)を備えている。乗算器1007から出力された波形データは、フィルタ回路1202に入力し、これら各フィルタによりフィルタリングされる。

【0081】係数発生部1201は、音量EG1012からの音量エンベロープ  $VEG(t)$  およびカオスEG1013からのエンベロープ  $aEG(t)$  を入力し、これらに基づいて、フィルタ回路1202のカットオフ周波数やQなどのパラメータ、およびミキサ部1203における混合比を出力する。

【0082】ミキサ部1203は、フィルタ回路1202からのHPFの出力、BPFの出力、およびLPFの出力、並びに原入力波形データを、係数発生部1201から与えられた混合比で混合し、出力する。

【0083】再び図10を参照して、デジタルフィルタ1008から出力された波形データは、効果回路1009に入力する。効果回路1009は、入力した波形データに、カオスEG1013からのエンベロープ  $aEG(t)$  に基づいて、各種の効果が付与する。例えば、リバースを付与する場合は、エンベロープ  $aEG(t)$  によって初期反射、遅延量、レベル、残響密度、およびリバースデプスなどを制御するとよい。また、物理モデルを用いて効果付与する場合は、エンベロープ  $aEG(t)$  によって、ループディレイ長、ループ内フィルタ係数、ループ反射係数、および減衰率などを制御するとよい。

【0084】効果回路1009によって効果が付与された波形データは、D/A変換器1010によりアナログ楽音信号に変換され、サウンドシステム1011によ



り、放音される。

【0085】次に、上述の第1および第2の実施例で説明した関数発生器の他の構成例を説明する。

【0086】図14は、図4(a)と同様のグラフである。 $f(x)$ は関数発生器102の関数を示し、点線402は補助線( $x_{n+1} = x_n$ )を示す。ここで、 $x_{n+1} = f(x_n) = x_n$ の場合は、入力値 $x_n$ がそのまま次の値 $x_{n+1}$ として出力されるので、値は変化しない。関数 $f(x)$ のグラフが補助線402より上側にある範囲(すなわち、 $x_{n+1} = f(x_n) > x_n$ の範囲)では、10 入力した $x_n$ より大きな値 $x_{n+1}$ が出力される。逆に、関数 $f(x)$ のグラフが補助線402より下側にある範囲(すなわち、 $x_{n+1} = f(x_n) < x_n$ の範囲)では、入力した $x_n$ より小さな値 $x_{n+1}$ が出力される。

【0087】すなわち、関数 $x_{n+1} = f(x_n)$ のグラフから補助線 $x_{n+1} = x_n$ のグラフを減算した結果(図の斜線部1401)が、各 $x$ の値における次のタイミングの値との差分(時間微分値)になっている。

【0088】したがって、関数発生器を図15のように構成することができる。図15の関数発生器は、微分値発生器1501および加算器1502を備えている。微分値発生器1501は、入力データ $x$ に対し、その時点での時間微分値を発生する。加算器1502は、その時間微分値と原入力データ $x$ を加算し、関数出力 $f(x)$ を得る。20

【0089】図16は、この発明の第3の実施例に係る楽音発生装置を適用した電子楽器のブロック構成を示す。これは、カオス発振器の出力を位相データとして波形メモリから波形データを読み出す音源を用いた電子楽器である。30

【0090】この電子楽器は、鍵盤1601、ホイール操作子1602、検出器1603、検出器1604、パラメータ発生器1605、カオスEG1606、加算器1607、カオス発振器1608、波形メモリ1611、音量EG1612、乗算器1613、D/A変換器1614、およびサウンドシステム1615を備えている。

【0091】ユーザが鍵盤1601を演奏すると、検出器1603はその演奏操作を検出し、演奏情報(例えば、キーコード、キーオン信号、およびタッチ情報など)を出力する。この演奏情報は、音量EG1612、パラメータ発生器1605、およびカオスEG1606に入力する。ユーザがホイール操作子1602を操作すると、検出器1604はその操作を検出し、ホイール操作情報を出力する。ホイール操作情報は、パラメータ発生器1605に入力する。40

【0092】パラメータ発生器1605は、上述の図11の係数発生器1101と同様のもので、検出器1603、1604から出力された演奏情報およびホイール操作情報を入力し、それらに応じて係数 $aofs$ 、 $b$ を出力 50

する。カオスEG1606は、図10のカオスEG1013と同様のもので、検出器1603から出力された演奏情報およびパラメータ発生器1605から出力された操作情報に基づいて、エンベロープ値 $aEG(t)$ を出力する。加算器1607は、図11の加算器1102と同様のもので、オフセット値 $aofs$ とエンベロープ値 $aEG(t)$ とを加算して係数 $a$ を構成する。

【0093】カオス発振器1608は、図11の乗算器1103、加算器1104、遅延回路1105、およびモジュロ回路1106に対応する。すなわち、カオス発振器1608は、加算器1607からの係数 $a$ およびパラメータ発生器1605からの係数 $b$ を入力し、波形データを出力する。その波形データを位相データとして、波形メモリ1611から波形データが読み出される。

【0094】なお、カオス発振器1608の出力する波形データ(位相データ)は図4～図9で説明したように発振動作するが、この実施例では、図5(b)や図6

(b)のように鋸歯状の波形が多く出力されるようにパラメータ $a$ 、 $b$ を制御している。これは、通常の波形メモリ読出し形式の音源に用いられる位相データ発生器が、鋸歯状波を出力することに合わせたものである。

【0095】また、パラメータ発生器1605は、入力したキーコードに応じてパラメータ $b$ (および $a$ )の値を設定する。これにより、発生する楽音波形のピッチを調整する。さらに、パラメータ発生器1605は、ホイール操作情報に応じてパラメータ $b$ の値を制御する。これにより、ホイール操作によるピッチベンドが実現される。また、パラメータ発生器1605は、ホイール操作情報に応じてパラメータ $aofs$ の値を制御する。これにより、ホイール操作による位相波の形状の制御が実現される。30

【0096】FM変調波発振器1609と加算器1610を設けて、カオス発振器1608から出力される波形データに対し、FM変調波発振器1609からのFM変調波を加算して位相データとしてもよい。

【0097】波形メモリ1611から読み出された波形データは、乗算器1613に入力する。また、音量EG1612は、検出器1603からの演奏情報に応じた音量エンベロープ $VEG(t)$ を出力する。乗算器1007は、波形メモリ1611からの波形データと音量エンベロープ $VEG(t)$ とを乗算することにより、波形データにエンベロープを付与する。乗算器1007の出力(エンベロープを付与した波形データ)は、D/A変換器1614によりアナログ楽音信号に変換され、サウンドシステム1615により、放音される。

【0098】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、カオス音源のパラメータをリアルタイム制御しているので、そのようなパラメータ値に応じて波形形状がステップ的に複数段階に渡って変化するような波形を発生

することができる。また、パラメータ値が所定の範囲内にある時間が長くなるようにEG制御して、所定の波形形状で波形出力する時間を長くするようにもできる。操作子からの操作情報に応じてパラメータを変化させるようにすれば、ユーザの操作に応じた音色変化が実現できる。さらに、パラメータをリアルタイム制御したカオス音源からの波形データ出力を位相データとして波形メモリを讀出して波形データを生成出力することもでき、これにより新規な音色の楽音を発生できる。結果として、PCM音源やFM音源では発生することができない、よりバラエティに富んだ表現力の高い楽音を発生することができる。

【0099】また、カオス音源の循環路にデータの数値制限を行なう非線形変換手段を設けているので、循環路のデータ長を長くすることなく、また関数演算を複雑にすることなく、種々の波形を発生することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施例に係るカオス発振器のブロック構成図

【図2】カオス発振器の関数発生器の構成例を示す図

【図3】補正回路による振幅制限の例を示す図

【図4】 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡 ( $a < 1.0$ ) および振幅値の時間的変化を示す図

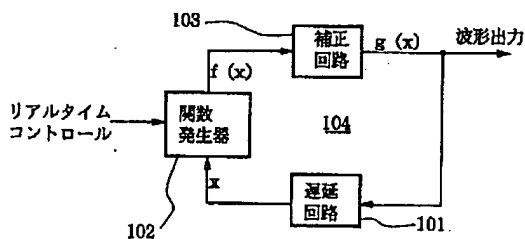
【図5】 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡 ( $a = 1.0$ ) および振幅値の時間的変化を示す図

【図6】 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡 ( $a > 1.0$ ) および振幅値の時間的変化を示す図

【図7】 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡 ( $a > 1.0$ ) および

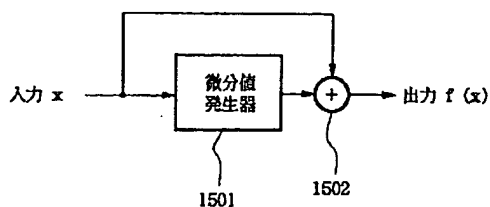
【図1】

カオス発振器のブロック構成



【図15】

関数発生器の他の構成例



振幅値の時間的変化を示す図

【図8】 $x_{n+1} = f(x_n)$  の軌跡 ( $a > 1.0$ ) および振幅値の時間的変化を示す図

【図9】振幅値の時間的変化の別の例を示す図

【図10】この発明の第2の実施例に係る楽音発生装置を適用した電子楽器のブロック構成図

【図11】第2の実施例のカオス発振器のブロック構成図

【図12】第2の実施例のデジタルフィルタのブロック構成図

【図13】第2の実施例のカオスEGのエンベロープの例を示す図

【図14】関数発生器の関数  $f$  を示す図

【図15】関数発生器の他の構成例を示す図

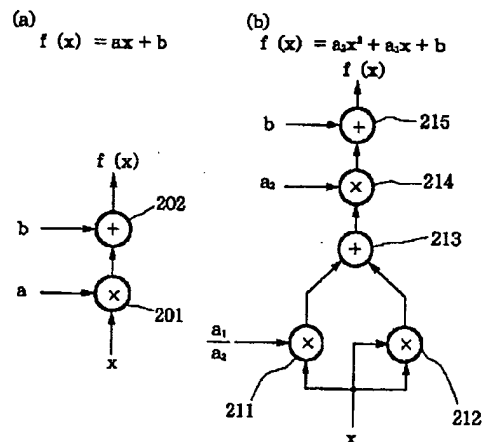
【図16】この発明の第3の実施例に係る楽音発生装置を適用した電子楽器のブロック構成図

【符号の説明】

101…遅延回路、102…関数発生器、103…補正回路、104…循環路、1001…演奏操作子、1002…音色スイッチ (SW)、1003、1004…検出器、1005…カオス発振器、1006…ホールド回路、1007…乗算器、1008…デジタルフィルタ、1009…効果回路、1010…デジタルアナログ (D/A) 変換器、1011…サウンドシステム、1012…音量エンベロープジェネレータ (EG)、1013…カオスEG、1101…係数発生器、1102…加算器、1103…乗算器、1104…加算器、1105…遅延回路、1106…モジュロ回路。

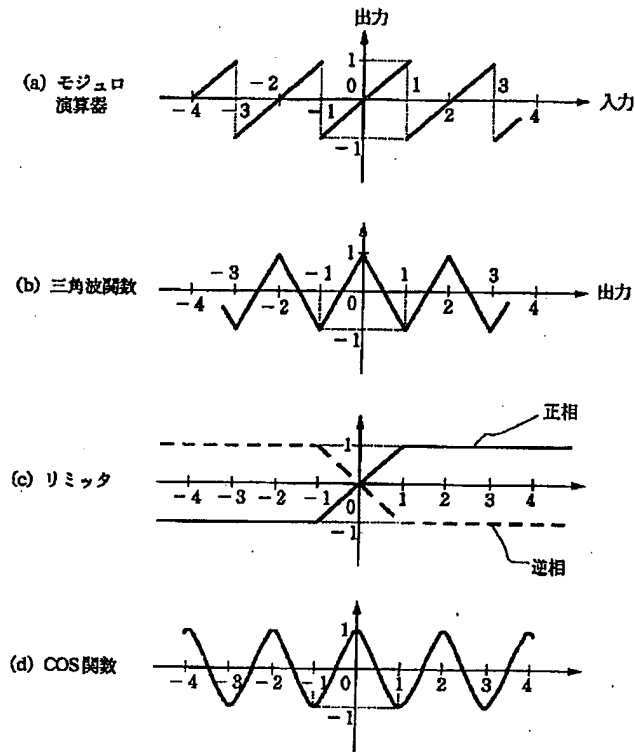
【図2】

関数発生器のブロック構成例



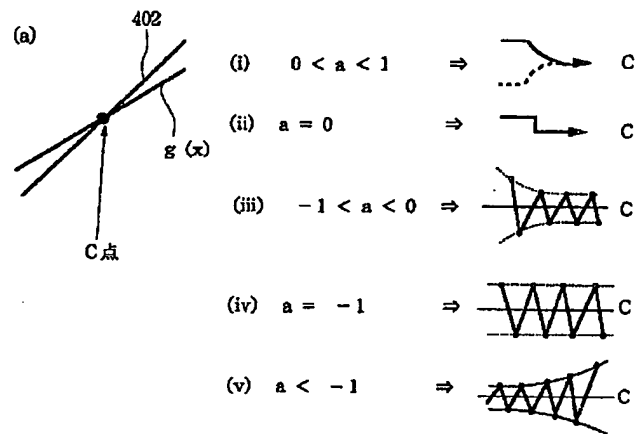
【図3】

補正回路による振幅制限の例



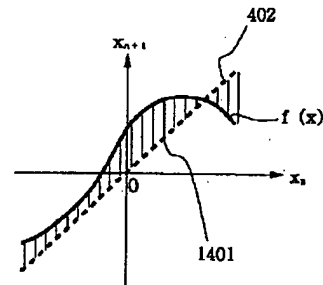
【図9】

振幅値の時間的変化の例



【図14】

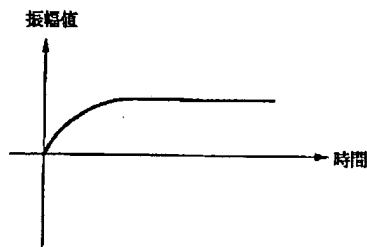
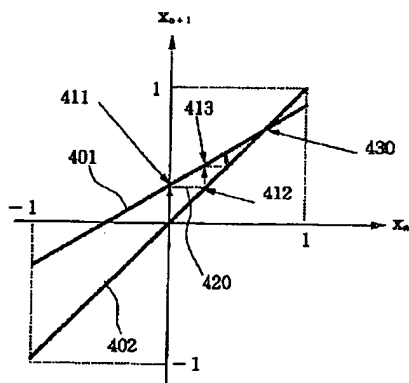
関数fのグラフ



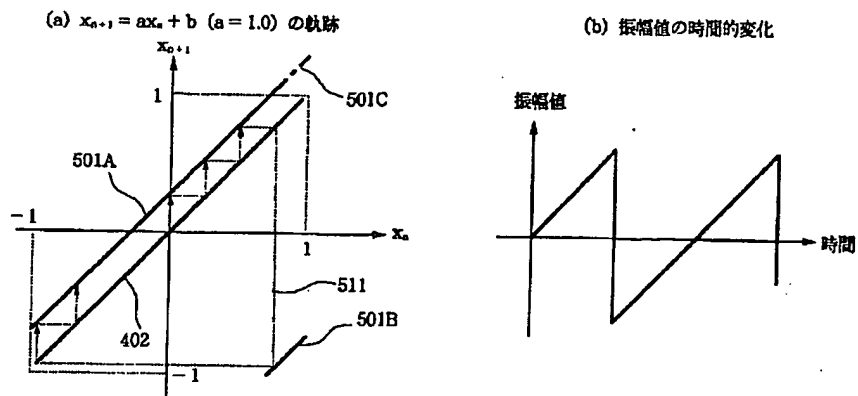
【図4】

(a)  $x_{n+1} = f(x_n) = ax_n + b$  ( $a < 1.0$ ) の軌跡

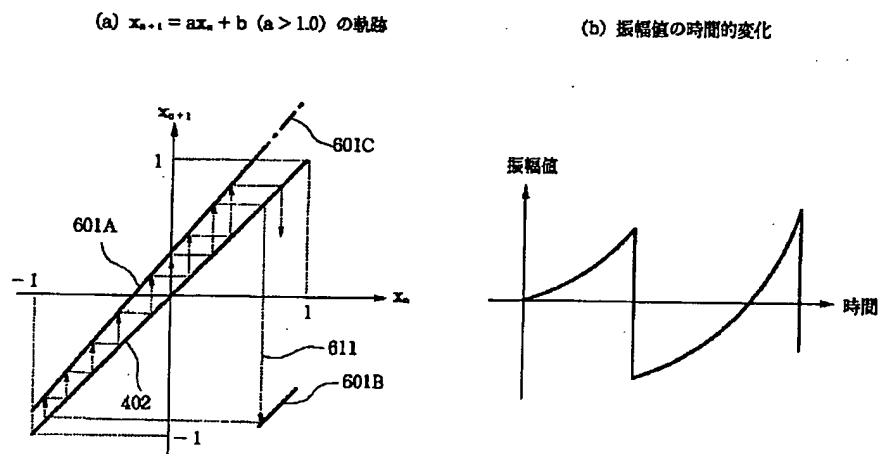
(b) 振幅値の時間的変化



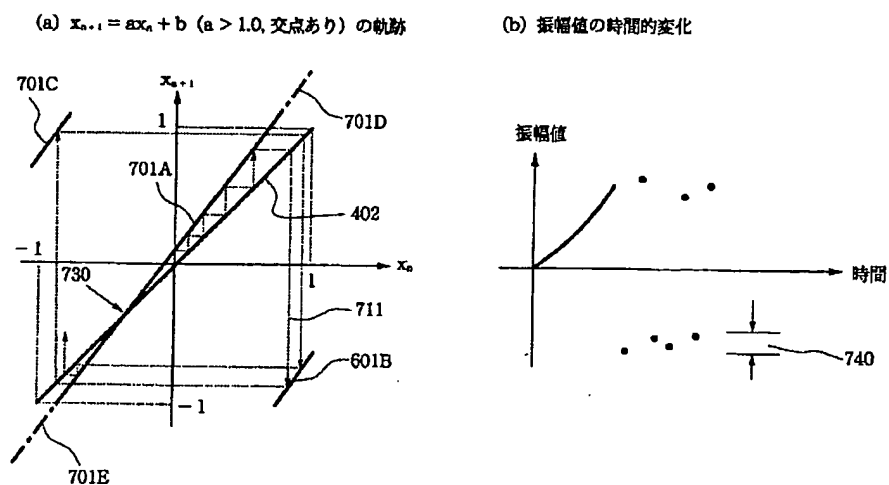
【図 5】



【図 6】



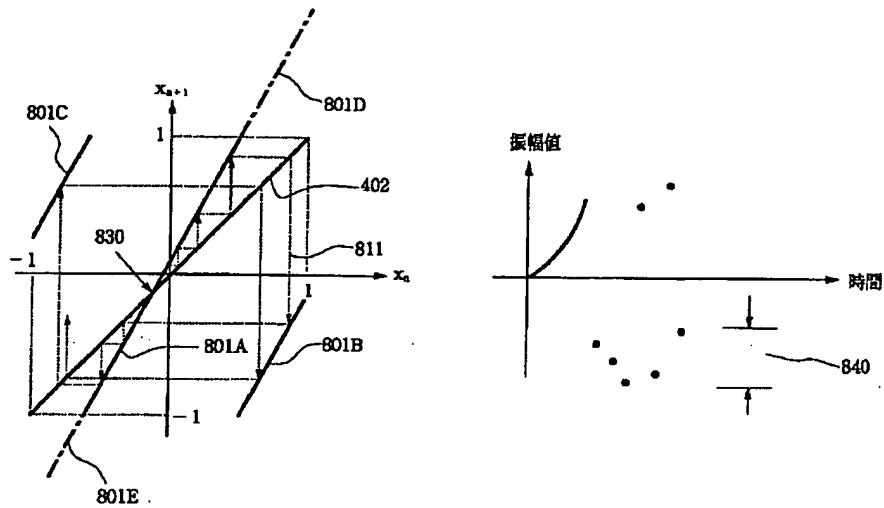
【図 7】



【図 8】

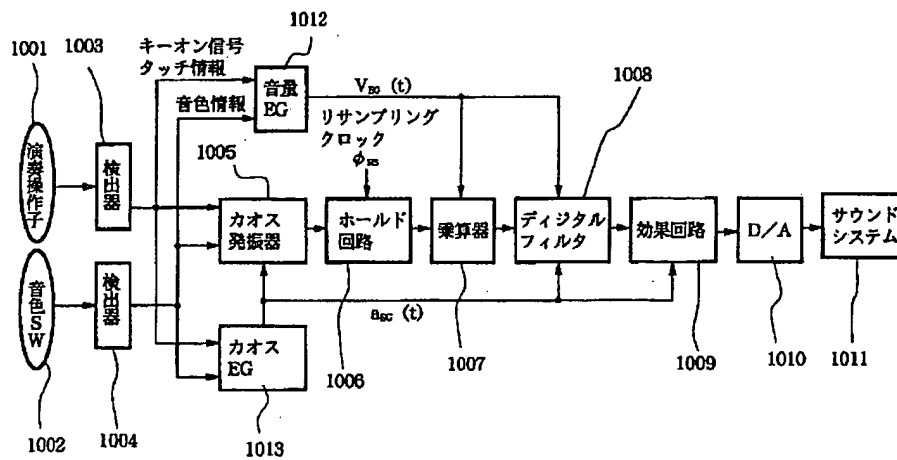
(a)  $x_{n+1} = ax_n + b$  ( $a > 1.0$ , 交点あり) の軌跡

(b) 振幅値の時間的変化



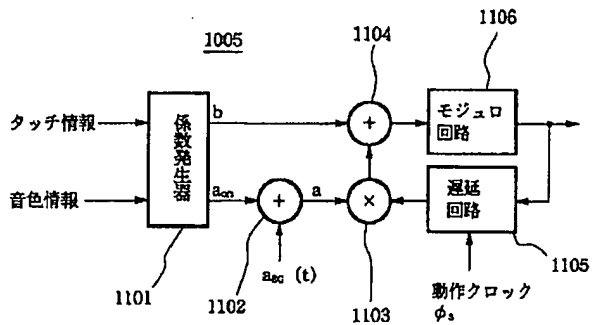
【図 10】

第2の実施例の電子楽器のブロック構成

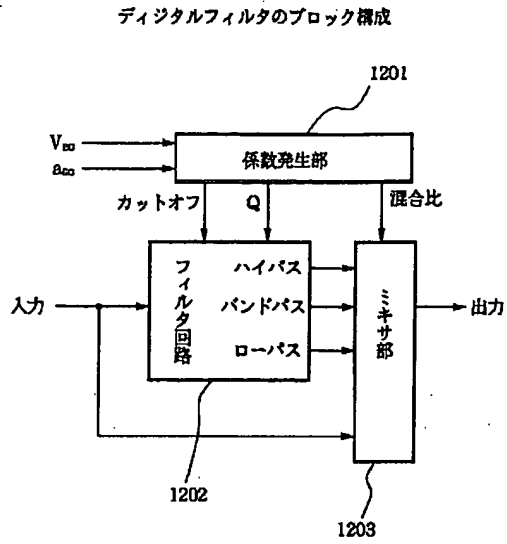


【図 11】

カオス発振器のブロック構成

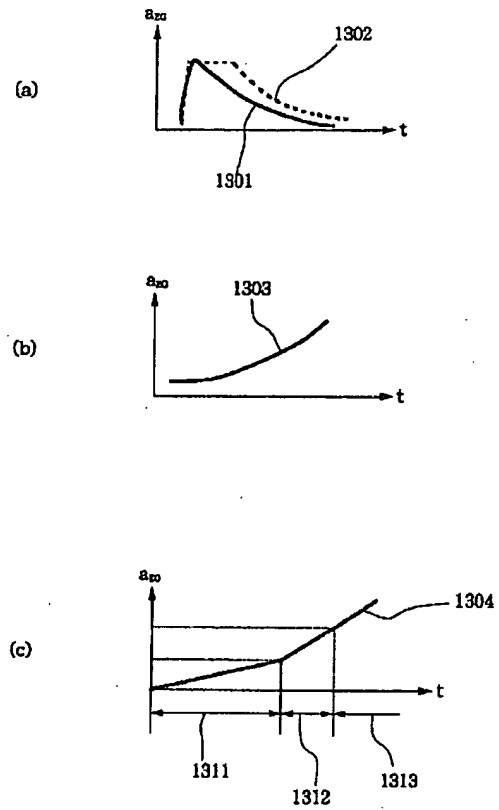


【図 12】



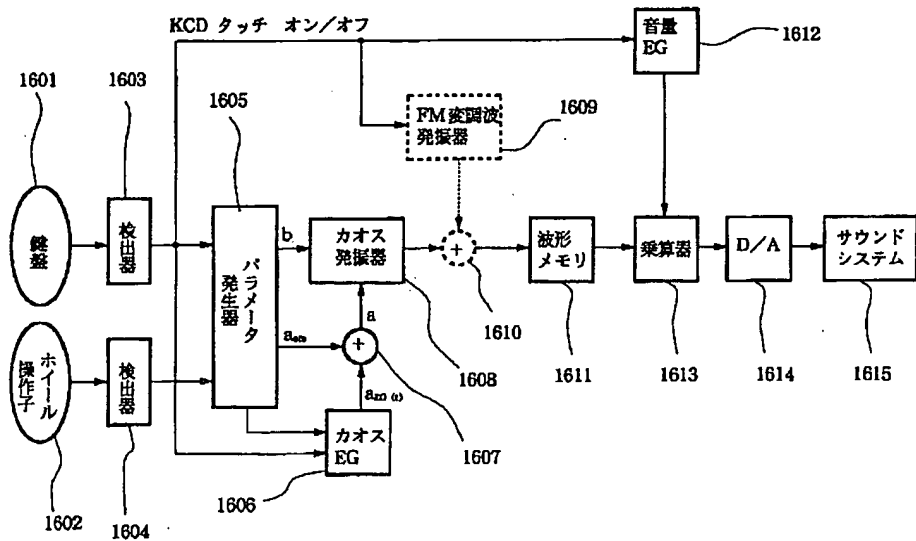
【図 13】

カオスEGのエンベロープの例



【図 16】

第3の実施例の電子楽器のブロック構成



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**